

7-4 地震予知の適中率の計算（伊豆大島近海地震を例として）

Calculation of the Probability of Success of an Earthquake Prediction

(In the Case of Izu-Oshima-Kinkai Earthquake of 1978)

東京大学地震研究所 宇津徳治

Tokuji Utsu

Earthquake Research Institute, University of Tokyo

N個の独立な観測項目 A, B, …… , S に地震の前兆かも知れないと思われる異常が現れた場合を考える。第1図のように各項目に異常が現れてからそれぞれ t_A, t_B, \dots, t_S 時間後の時刻 t において判定を行って“今から t 時間以内に地震が起る”という予報を出すときの適中率は

$$P = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{P_A} - 1\right) \left(\frac{1}{P_B} - 1\right) \cdots \left(\frac{1}{P_S} - 1\right) \left(\frac{1}{P_0} - 1\right)^{N-1}}$$

で表される。ただし P_A, P_B, \dots, P_S はそれぞれの項目だけに着目しているとき、それに異常が現れてから t_A, t_B, \dots, t_S 時間後を始点とする長さ τ 時間に地震が起る確率（単独項目による予知の適中率）であり、 P_0 はでたらめに長さ τ 時間の予報を出したときの適中率である（付記参照）。

上式による適中率の計算例として1978年伊豆大島近海地震の場合を考えると。まず、伊豆半島北東部の隆起（それに伴う重力減少）を前兆かも知れないと考える（項目A）。日本で地盤隆起が地震と結びついたのはその1/6であるという報告もあるが、伊豆の隆起はかなり顕著なので、隆起域の広がり等から考えて、隆起が始ってから5年以内にM6½程度以上の地震が起る確率を一応1/3とする。次に、1月14日午前の大島西方の地震活動を前兆かも知れないと考える（項目B）。日本で群発的地震活動が前震である確率は1/20であるという報告もあるが、伊豆地方は前震が起き易い地域であり、またこの地震活動はb値が小さかったという報告もあるので、この活動がかなりの大地震の前震である確率を一応1/10とみる。そしてこの活動が始ってから3日以内にM6½以上の地震が起る確率を1/35とする。（筆者が調べた日本の前震系列26回のうち、最大前震と本震との時間間隔が3日以内のものが19回、また本震と最大前震のMの差が1.6以上のものが10回あった。ここでは本震としてM6½以上を想定し、最大前震のM4.9であったのでその差は1.6となる。従って前記確率は(1/10)(19/26)(10/26) ≃ 1/35となる。）更に、石廊崎と網代の埋込式体積ひずみ計に現れた異常や伊豆半島でのラドン、井戸水位等の異常を取り上げる。これらの前兆としての評価は経験に乏しいため難しいが、これ

らは関連して変化する可能性があるので合わせて考え（項目 C），前年の 12 月中旬から 1 か月以内に M6 ½以上の地震が起る確率を一応 1/10 とする。P₀を決めるため，対象とする地域内で M6 ½程度以上の地震が 30 年に 1 回の割合で起っている場合（Case I）と 100 年に 1 回の割合で起っている場合（Case II）を考える。観測された異常が小田原，大島，伊豆半島南端を含む程度の地域に対応していると考えれば 30 年に 1 回程度，これよりもやや狭い地域に対応していると考えれば 50～100 年に 1 回程度とみてよいであろう。

本震当日（1 月 14 日）の 11 時ころ，これらのデータがすべて集っていたとして，判定を行い予報期間 τ が 1/8 日（3 時間），1 日，または 3 日の予報を出したとする。P_A = $\tau / (3 \times 5 \times 365)$ ，P_B = $\tau / (35 \times 3)$ ，P_C = $\tau / (10 \times 30)$ ，P₀ = $\tau / (30 \times 365)$ （Case I），P₀ = $\tau / (100 \times 365)$ （Case II），（ τ は日単位）と考えて，前式によって P を求めると第 1 表のようになる。表には A，B，C 三者を考えた場合のほか，A と B，B と C を用いた場合も示してある。以上想定した P_A，P_B，P_C は見方によっては甘過ぎるとも辛過ぎるともいえようが，もし評価を辛くして P_A，P_B，P_C をすべて前記の値の 1/2 にしてみる（あるいは P_A，P_B，P_C のいずれかを 1/8 にしてみる）と P（A ∩ B ∩ C）は表中の括弧内の値となる。

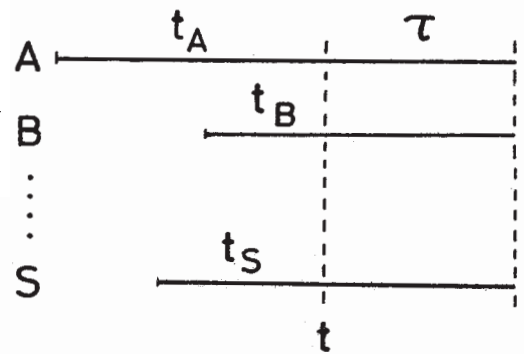
前記の式によってこのような計算が行えるのは各項目が独立の場合に限られる。ここで扱った三つの項目 A，B，C はその現れ方の時間スケールが著しく異っているので独立の現象とみてよいとすれば，P_A，P_B，P_C はたいへん小さい値なのにもかかわらず P（A ∩ B ∩ C）は結構大きくなっていることが注目される。しかしこの数字は各項目の予知能力のかなり大雑把な評価に基づいているので，これだけで予知の判定はできない。また，各項目の独立性は必ずしも保証されているわけではないので，前式の与える値は「上限」を示す参考値とみるべきであろう。

〔付記〕前式の導出：便宜上 A，B2 項目のみの場合を説明する。N 個の項目の場合に拡張することは容易である。なお，地震，異常の発生は稀な現象で， τ 時間以内に 2 回以上の地震，異常が発生することはないと仮定する。また，予報期間中において地震の起る確率は時間によらず一様と仮定する。いま，十分に長い期間 T にわたってデータがあるものとし，その間に M 個の地震が起っているとする。項目 A のみによる予報が成功した（A に異常が現れてから t_A 時間後を始点とする τ 時間のうちに地震が起った）回数を m_A，同じく予報が失敗した（外れた）回数を n_A とする（m_B，n_B も同様に定義する）。P_A = m_A / (m_A + n_A) であるから n_A / m_A = 1 / P_A - 1，同様に n_B / m_B = 1 / P_B - 1 となる。A に異常が現れてから t_A 時間後の時刻と B に異常が現れてから t_B 時間後の差が Δt 以内の場合（Case Δt と呼ぶ）（ $\Delta t \rightarrow 0$ と考える）。A によって成功した予報の期間と B によって成功した予報の期間が重複する場合の数は独立性の仮定から m_Am_B / M となる。これは M 個の地震のうち A によっても

Bによっても予知されたものの数である。このうち Case Δt であるものの率は $2 \Delta t / \tau$ である ($2 \Delta t / 2 \tau$ ではないことに注意)。次に A によって失敗した予報の期間と B によって失敗した予報の期間が重複しかつ Case $\Delta \tau$ である場合の数は独立性の仮定から $2n_{A \cap B} \Delta t / (T - M \tau)$ となる。また、でたために長さ τ の予報を出したとき当たる率は $P_0 = M \tau / T$ であり、 $1/P_0 - 1 = (T - M \tau) / M \tau$ となる。以上のことから、A と B の予報期間が重複し Case Δt である場合のうち、重複期間中に地震が起り予報が適中した場合の占める率は

$$P = \frac{2m_{A \cap B} \Delta t / M \tau}{2m_{A \cap B} \Delta t / M \tau + 2n_{A \cap B} \Delta t / (T - M \tau)}$$

$$= \frac{1}{1 + (1/P_A - 1)(1/P_B - 1)(1/P_0 - 1)}$$



となる。これは前式の $N = 2$ の場合に他ならない。

第1表 三つの予報期間 τ に対する $P(A \cap B \cap C)$, $P(A \cap B)$, $P(B \cap C)$ の値 (括弧内は P_A , P_B , P_C が表中の値の $1/2$ の場合)

Table 1. $P(A \cap B \cap C)$, $P(A \cap B)$, and $P(B \cap C)$ for three cases of the length of prediction interval τ .

| τ | | 3 hours | 1 day | 3 days |
|----------------------|---------|---------------|--------------|-------------|
| P_A | | 0.0000228 | 0.000183 | 0.000548 |
| P_B | | 0.00119 | 0.00952 | 0.0286 |
| P_C | | 0.000417 | 0.00333 | 0.01 |
| P_0 | Case I | 0.0000114 | 0.0000913 | 0.000274 |
| | Case II | 0.00000342 | 0.0000274 | 0.0000821 |
| $P(A \cap B \cap C)$ | Case I | 0.080 (0.011) | 0.41 (0.081) | 0.68 (0.21) |
| | Case II | 0.49 (0.11) | 0.89 (0.49) | 0.96 (0.75) |
| $P(A \cap B)$ | Case I | 0.0024 | 0.019 | 0.056 |
| | Case II | 0.0079 | 0.060 | 0.16 |
| $P(B \cap C)$ | Case I | 0.042 | 0.26 | 0.52 |
| | Case II | 0.13 | 0.54 | 0.78 |